Optimalisatie van Logistieke Processen voor Steriele Chirurgische Instrumentensets

Toegepaste Wiskunde

Project Modeleren

Groep 4

-Amber Vangerven

-Jesse de Ruyter

Haagse Hogeschool

20-09-2024

Inhoudsopgave

[Samenvatting 3](#_Toc177638523)

[1. Inleiding 3](#_Toc177638524)

[1.1 Achtergrond 4](#_Toc177638525)

[1.2 Doelstelling 4](#_Toc177638526)

[1.2.1 Eisen 4](#_Toc177638527)

[1.3 Onderzoeksstructuur 5](#_Toc177638528)

[2. Data verkenning 6](#_Toc177638529)

[3. Literatuuronderzoek 7](#_Toc177638530)

[3.1 Wiskundige generatiemethoden voor route optimalisatie 7](#_Toc177638531)

[Literatuurlijst 11](#_Toc177638532)

# Samenvatting

Hier komt de samenvatting te staan zodra het verslag af is

# Inleiding

## Achtergrond

GreenCycl is een bedrijf wat zich focust op duurzaamheid binnen de zorg sector, met name op het recyclen en hergebruik van medische instrumenten en materialen. Ze streven naar een klimaat neutrale zorgsector in lijn met de Europese Green Deal. Met hun sterilisatie service transformeren ze zogeheten disposables, ofwel gebruik-weggooi wegwerp medische instrumenten, naar een duurzamer alternatief. In de huidige situatie heeft GreenCycl één vestiging in de Meern.

Deze vestiging haalt de medische instrumenten op, reinigt ze en zorgt er vervolgens weer voor dat de juiste instrumenten op tijd bij de aangesloten ziekenhuizen geleverd worden. Door de groeiende vraag naar de service die GreenCycl aanbiedt gaan zij in 2025 twee nieuwe vestigingen openen, in Capelle a/d IJssel en Maastricht, en in 2026 een vestiging in Delft, waardoor GreenCycl op een grotere schaal hun services aan kunnen bieden. Deze nieuwe vestigingen brengen verschillende logistieke problemen met zich mee. En hiervoor heeft GreenCycl studenten van de opleiding Toegepaste Wiskunde ingeschakeld.

## Doelstelling

Het doel van dit project is een logistiek model dat de transport en opslagprocessen tussen de vier locaties en hun bijbehorende ziekenhuis locaties optimaliseert. Het model moet een aantal dingen bevatten, waaronder een capaciteitsplanning en een route optimalisatie. Verder moet het model de transport- en operationele kosten minimaliseren en moet het model flexibel zijn om toekomstige tijdframes afgeleverd worden.

### Eisen

De eisen vanuit GreenCycl aan het model zijn als volgt:

* Het programma moet een capaciteitsplanning bevatten.
* Het programma moet een buffercapaciteit bevatten voor eventuele onverwachte pieken in de vraag naar instrumentensets.
* Het programma moet een route optimalisatie uitvoeren.
* Het programma moet rekening houden met transporttijden, verkeersdrukte en andere mogelijke vertragingen.
* Het programma moet de transport- en operationele kosten minimaliseren

### Onderzoeksstructuur

Om een programma te creëren wat voldoet aan alle eisen van GreenCycl is dit project opgestart. Dit project is samengevat in een onderzoeksrapport, een programma en een programma handleiding. Het onderzoek focust zich op het maken van een model voor route- en opslag optimalisatie en kosten minimalisatie. Dit betekent dat er in dit onderzoek alleen wordt onderzocht op methoden die tot nu toe aan bod zijn gekomen binnen de opleiding. wordt volgens de volgende hoofdvraag geleid: “*Met welke wiskundige methode(n) kan er een model opgesteld worden zodat, de routes en de capaciteit geoptimaliseerd, en de kosten geminimaliseerd worden?*”

De hoofdvraag kan opgedeeld worden in de volgende deelvragen:

1. Welke wiskundige methoden zijn geschikt voor het optimaliseren van routes?
2. Welke wiskundige methoden zijn geschikt voor het optimaliseren van capaciteit?
3. Op welke manieren kunnen wiskundige methoden voor het optimaliseren van routes en capaciteit gecombineerd worden zodat de kosten zo laag mogelijk blijven?

# Data verkenning

Vanuit Greencycl is een dataset beschikbaar gesteld waarin informatie over de inhoud van de sets met medische instrumenten staat. Deze dataset bestaat uit alle instrumenten die vanaf de hubs in De Meern, Capelle aan den IJsel en Maastricht aan een ziekenhuis worden afgeleverd. Per instrument is vervolgens af te lezen van welke hub het wordt verstuurd en welk ziekenhuis het ontvangt. Ook staat er een korte beschrijving van het instrument, de referentie voor het artikel, hoe vaak het in een set zit en in sommige gevallen de fabrikant. Ook staat per artikel beschreven bij welke set deze hoort, waarbij de set wordt beschreven door middel van een naam en de barcode van de set. Ook staat de afmeting van de bijbehorende instrumenten set en of deze actief is. Deze dataset bevat 226.255 elementen. Dit hoge aantal komt doordat elk instrument met een unieke combinatie van hub, afleverlocatie en set, is opgenomen in deze dataset. In werkelijkheid zijn er iets meer dan 10.000 unieke instrumenten, 58 afleverlocaties, 8.558 verschillende sets en 3 hubs.

# Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek is voornamelijk gefocust op methoden die al aanbod zijn gekomen tijdens de opleiding en van toepassing kunnen zijn op het probleem. Er is op dit moment nog weinig bekend over de data dus is er gekozen voor een algemeen literatuuronderzoek met veel methoden waarin er later eventueel methoden af kunnen vallen als er meer data beschikbaar is gesteld door de opdrachtgever.

## Wiskundige methoden voor route optimalisatie

Om de deelvraag “*Welke methoden zijn geschikt voor het optimaliseren van routes?*” te beantwoorden moet er gekeken worden welke methoden passend kunnen zijn voor het specifieke model wat gemaakt moet worden. Zoals eerder vermeld is nog niet alle data vrijgegeven, dus is het literatuuronderzoek over routes vrij algemeen toepasbaar gelaten op het probleem van GreenCycl en kan het zijn dat er methoden achteraf gezien niet geschikt zijn.

Het optimaliseren van een route wordt ook wel een Vehicle Routing Problem genoemd, afgekort naar VRP. Voor de vraag van GreenCycl kan er niet direct een standaard VRP gebruikt worden, maar moet er ook rekening gehouden worden met de capaciteit van de voertuigen en dat naast het leveren van materiaalsets, ook sets moeten worden opgehaald. Bovendien moeten er ook meerdere hubs gebruikt kunnen worden vanwaar elke route start en eindigt. Tot slot moeten de instrumenten binnen bepaalde tijden worden geleverd.

Rekening houdend met al deze factoren is het VRP van GreenCycl een Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery with Time Windows, MDCVRPPDTW. Dit wetende kan ook gekeken worden naar de tijdscomplexiteit van het probleem. Elk VRP heeft een complexiteit van NP-moeilijk *(Garey & Johnson, 1979)*. Dit betekent dat het oplossen van het probleem in polynomiale tijd gebeurt. De tijd om een VRP te optimaliseren stijgt dus harder naarmate het langer duurt om een oplossing uit te rekenen.

Voor Greencycl betekent dit dat het probleem moeilijker wordt om uit te rekenen naarmate er meer ziekenhuizen en hubs in het systeem worden opgenomen. Omdat het geen optie is om alle mogelijke oplossingen te vergelijken binnen een realistisch tijdsframe, is het wenselijk om de zoekruimte te verkleinen met behulp van heuristieken. Hierbij wordt slechts een deel van de mogelijke oplossingen meegenomen, door bijvoorbeeld mutaties te doen op een bestaande oplossing.

Zo wordt er elke keer dat het programma de berekening uitvoert, elke iteratie, gezocht naar een betere oplossing om tot een optimum te komen. Dit optimum is echter een lokaal optimum. Een lokaal optimum is de beste oplossing binnen een zoekruimte. Omdat de zoekruimte is verkleind door het gebruik van heuristieken kan het zijn dat het niet de beste oplossing is voor het gehele probleem. De beste oplossing voor het probleem wordt het globale optimum genoemd

Een globaal optimum kan alleen met zekerheid verkregen worden door alle mogelijke oplossingen te berekenen. Zoals eerder vermeld is dit niet geheel wenselijk, daarom kan er gebruik gemaakt worden van meta-heuristieken. Metaheuristieken zijn heuristieken welke ook minder goede oplossingen kunnen gebruiken voor het zoeken naar een optimum. Hierdoor kan het dal tussen twee lokale optima worden overstegen om zo het globale optimum te benaderen.

Om te bepalen welke metaheuristiek het meest geschikt is om het MDCVRPTW van GreenCycl op te lossen, zijn de volgende drie metaheuristieken beschreven en bekeken op toepasbaarheid: Genetisch algoritme, Tabu-search algoritme en Simulated Anealing.

### Genetisch algoritme

#### Algemeen

Bij een genetisch algoritme *(Fraser, 1957)* moet er eerst een startpopulatie zijn. Uit deze startpopulatie worden vervolgens ouders gekozen. Deze ouders maken op hun beurt weer kinderen. De kinderen worden vervolgens weer toegevoegd aan de populatie. De populatie wordt gesorteerd en uit het best scorende deel van de populatie worden weer ouders gekozen. Zo blijft de loop doorlopen, ofwel itereren, totdat een bepaald stopcriterium is bereik.

Om een genetische algoritme te kunnen gebruiken moeten er enkele startwaarden worden bepaald. De kwaliteit van de oplossing hangt namelijk erg af van de startpopulatie. Wanneer deze te klein is, is de kans groot dat de eigenschappen die behoren bij het globale optimum niet aanwezig zijn in de startpopulatie. Ook is het mogelijk dat de eigenschappen wel aanwezig zijn, maar dat deze zich bevinden in verder slecht scorende leden.

Daarentegen moet de startpopulatie ook niet te groot zijn. Alle oplossingen in de populatie worden namelijk elke iteratie berekend, wat bij een grote populatiegrote veel rekentijd kost. Hierdoor kunnen per tijdseenheid minder iteraties worden gedaan waardoor het vinden van de oplossing lang kan duren.

#### Toepasbaarheid

Wanneer het genetisch algoritme wordt toegepast op het probleem van Greencycl zal elke oplossing per voertuig bestaan uit de locatie vanaf waar het voertuig rijd en de volgorde van de ziekenhuizen waar het voertuig heen moet rijden. Het generen van een lid van de startoplossing is lastig vanwege de tijdframes waarin een voertuig aanwezig moet zijn op een locatie, waarbij het voertuig bovendien ook nog de juiste instrumenten bij zich moet hebben en ruimte nodig heeft om sets eventueel ook weer op te halen.

Ook moet rekening gehouden worden met de erf-methode. Dit wordt gedaan door middel van een cross-over methode. Bij de keuze van deze methode moet rekening gehouden worden dat deze alleen valide oplossingen creëert waarbij dus alle ziekenhuizen tijdig worden bediend en de capaciteit niet wordt overschreden. Om een genetisch algoritme toe te kunnen passen moeten er dus keuzes worden gemaakt over de populatiegrootte, het genereren van de startoplossing en de cross-over methode(s).

### Tabu-Search

#### Algemeen

Bij een Tabu-Search algoritme *(Glover, 1986)* worden, alle oplossingen binnen de zoekruimte met elkaar vergeleken. Het grote verschil is dat voor elke aangenomen oplossing, de mutatie die tot deze oplossing leidt wordt bijgehouden in een tabu-list. Hierover later meer. Omdat in elke iteratie de beste oplossing uit de zoekruimte wordt gekozen, en de huidige oplossing van een iteratie niet in de zoekruimte zit, moet het onmogelijk zijn om de oplossing uit de vorige iteratie aan te nemen.

Wanneer namelijk een lokaal optimum is gevonden, zal de oplossing van elke iteratie wisselen tussen de beste oplossing vanaf het lokale optimum, om vervolgens deze mutatie ongedaan te maken en het lokale optimum weer te bereiken. Hiervoor wordt de tabu-list gebruikt. Wanneer een oplossing voorkomt in de tabu-list wordt deze uitgesloten en verwijderd uit de zoekruimte. Op deze manier wordt een globaal optimum gezocht. Wanneer de tabu-list vol zit zal deze bij een nieuwe mutatie items op een *First in First out* manier verwijderen. De lengte van de tabu-list hoelang het duurt voordat een oplossing weer overwogen wordt. Hierdoor is deze lengte belangrijk voor de werking van het algoritme. Wanneer deze te lang is zullen er veel iteraties nodig zijn om een oplossing opnieuw te overwegen en eventueel vanuit die oplossing een andere buuroplossing aan te nemen. Wanneer deze te kort is, zal de kans op korte cycli van oplossingen toenemen en zo op een lokaal optimum blijven hangen.

Voor dit algoritme geldt dat het voor het vinden van alle buuroplossingen in een zoekruimte een methode moet worden gebruikt waarbij zowel tussen als binnen routes mutaties plaats kunnen vinden zoals beschreven door Taillard et al. (1997). Door het grote aantal mogelijkheden wordt de zoekruimte erg groot en is het goed om deze te verkleinen door mutaties met weinige kans op verbetering of valide oplossingen niet mee te nemen. Dit kan bijvoorbeeld door enkel kleinere mutaties te toe te staan. Vervolgens moet ook voor elke buuroplossing de validiteit worden gecontroleerd, omdat er geen garantie is dat een buuroplossing zich houdt aan de tijd- en capaciteitsvoorwaarden voor een geldige oplossing.

#### Toepasbaarheid

Voor GreenCycl zou toepassing van het Tabu-Search algoritme, betekenen dat er keuzes moeten worden gemaakt voor het bepalen van de zoekruimte, oftewel de lengte van de Tabu-list. Vervolgens zou de huidige planning als startoplossing genomen kunnen worden waarna vervolgens verbeteringen worden gezocht.

### Simulated Annealing

#### Algemeen

Bij Simulated Annealing (*Kirkepatch et al., 1983) (Cerny, 1985)* worden willekeurig oplossingen uit de zoekruimte vergeleken met de huidige oplossing van een iteratie. Een oplossing wordt aangenomen wanneer deze beter is dan de huidige oplossing. Een slechtere oplossing kan worden aangenomen aan de hand van een kansfunctie, welke is afgeleid van de formule voor temperatuursverandering voor materialen.

Om de zoekruimte te bepalen moet net als bij het Tabu-search algoritme een methode worden gekozen om buuroplossingen te bepalen. Ook hier geldt dat er een overweging kan worden gemaakt om de zoekruimte te verkleinen om zo de kans op betere oplossingen te vergroten. Bij gebruik van dit algoritme kunnen veel iteraties worden gedaan omdat elke verbetering kan wordt aangenomen in plaats van alleen de beste oplossing.

Daarin ligt ook een keerzijde. Wanneer vroeg in het proces een oplossing wordt aangenomen, kan het zijn dat deze niet leidt tot een goede oplossing. Dit komt doordat de kans op een slechtere oplossing en daarmee terugkomen bij de startwaarde kleiner wordt naarmate het aantal iteraties vergroot.

#### Toepasbaarheid

Om dit algoritme toe te passen is voornamelijk een methode nodig om oplossingen binnen de zoekruimte te generen. Verder moeten de constanten in de kansfunctie worden bepaald. Voor GreenCycl zal het bepalen van de zoekruimte vergelijkbaar zijn als bij het Tabu Search algoritme. Ook zal hier de huidige planning als startoplossing gebruikt kunnen worden.

## Wiskundige methoden voor capaciteitsoptimalisatie

Om de deelvraag “*Welke wiskundige methoden zijn geschikt voor het optimaliseren van capaciteit?*” te kunnen beantwoorden moet er eerst gekeken worden naar de optimale voorraadbeheer en de veiligheidsvoorraad die een ziekenhuis moet hebben. Om dit te kunnen realiseren zijn er een aantal modellen aan bod gekomen tijdens de opleiding. Een daarvan is een Economische Bestelhoeveelheid (EOQ) model. Dit model is het meest toegankelijk voor de latere implementatie in een metaheuristiek.

Een EOQ-model wordt gebruikt om een optimale bestelhoeveelheid te berekenen die de totale kosten van het opslaan en bestellen van voorraden minimaliseert *(Nahmias, 1992)*. Zo’n EOQ-model kan makkelijk gecombineerd worden met een veiligheidsvoorraad om onverwachte pieken in de vraag op te vangen. Het model geeft uiteindelijk een optimale batchgrootte van voorraden die naar ziekenhuizen vervoerd kunnen worden, waarna een metaheuristiek gebruikt kan worden om de optimale routes te bepalen.

#### Implementatie genetisch algoritme

Om een capaciteitsoptimalisatie mee te nemen in een genetisch algoritme, moet er per voertuig bekeken worden wat de maximale capaciteit is van het voertuig. Deze maximale capaciteit moet ook bekeken worden per aflever locatie, dus per ziekenhuis. Beide deze maximale capaciteiten mogen niet overschreden worden. Als dit wel gebeurt kan er in het genetische algoritme een straf aan het chromosoom worden toegekend.

Wat verder ook belangrijk is, is de vraag van het ziekenhuis en een veiligheidsvoorraad. Ook deze kunnen beide meegenomen worden in de fitness functie van het genetisch algoritme als straf. Bij het niet halen van de minimale vraag inclusief de veiligheidsvoorraad wordt er een straf toegekend en zal de oplossing minder hoog scoren.

#### Implementatie tabu search

Zoals eerder beschreven, maakt een tabu search algoritme gebruik van buuroplossingen en een tabu lijst. Om de capaciteitsoptimalisatie en veiligheidsvoorraad te implementeren in deze metaheuristiek moet er bij het maken van buuroplossingen, rekening gehouden worden met dat de totale vraag op een route de capaciteit van het voertuig niet overschrijdt en daarnaast dat de vraag en de veiligheidsvoorraad worden gerespecteerd. Dit betekend dat een buuroplossing alleen toegestaan kan worden als deze voldoet aan de capaciteitsbeperking en de vraag en veiligheidsvoorraad.

#### Implementatie simulated annealing

In een simulated annealing kunnen capaciteitsbeperkingen bijna hetzelfde meegenomen worden als in het genetisch algoritme. Zodra de capaciteitsbeperking overschreden wordt en/of de vraag en de veiligheidsvoorraad niet gehaald worden, moet een zware straf toegekend worden in de fitness functie. Deze straf moet zo zwaar wegen, dat de oplossing in geen enkel geval gekozen kan worden als optimale oplossing.

# Literatuurlijst

Černý, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal Of Optimization Theory And Applications*, *45*(1), 41–51. https://doi.org/10.1007/bf00940812

Fraser, A. (1957). Simulation of Genetic Systems by Automatic Digital Computers I. Introduction. *Australian Journal Of Biological Sciences*, *10*(4), 484. https://doi.org/10.1071/bi9570484

Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness*. W.H. Freeman.

Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & Operations Research*, *13*(5), 533–549. https://doi.org/10.1016/0305-0548(86)90048-1

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, *220*(4598), 671–680. <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>

Nahmias, S. (1992). *Production and operations analysis*. http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB00647035

Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J. (1997). A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. *Transportation Science*, *31*(2), 170–186. https://doi.org/10.1287/trsc.31.2.170